

Indicateurs d'état et de prévision de la dynamique de transformation des apports organiques

Laurent Thuries (1), Sabine Houot (2)

(2) UMR INRA AgroParisTech « Environnement et Grandes Cultures », 78850 Thiverval-Grignon



Pourquoi des indicateurs?

- **Utilisateurs :**
 - attentes différentes (amendements, engrais, support de culture...)
- **Producteurs :**
 - connaître ses produits, suivre un process (compostage)
- **Conseillers :**
 - préconiser les bons usages
- **Législateurs :**
 - réglementer les usages, prévenir les problèmes, marché C...
- **Scientifiques :**
 - prévoir à long terme les effets, généricité des travaux

Quels effets prévoir?

- Dynamique MO et stockage C
- Activité biologique
- Disponibilité éléments fertilisants (N)
- Phytotoxicité
- Risques environnementaux

Exemples d'outils et d'indicateurs disponibles

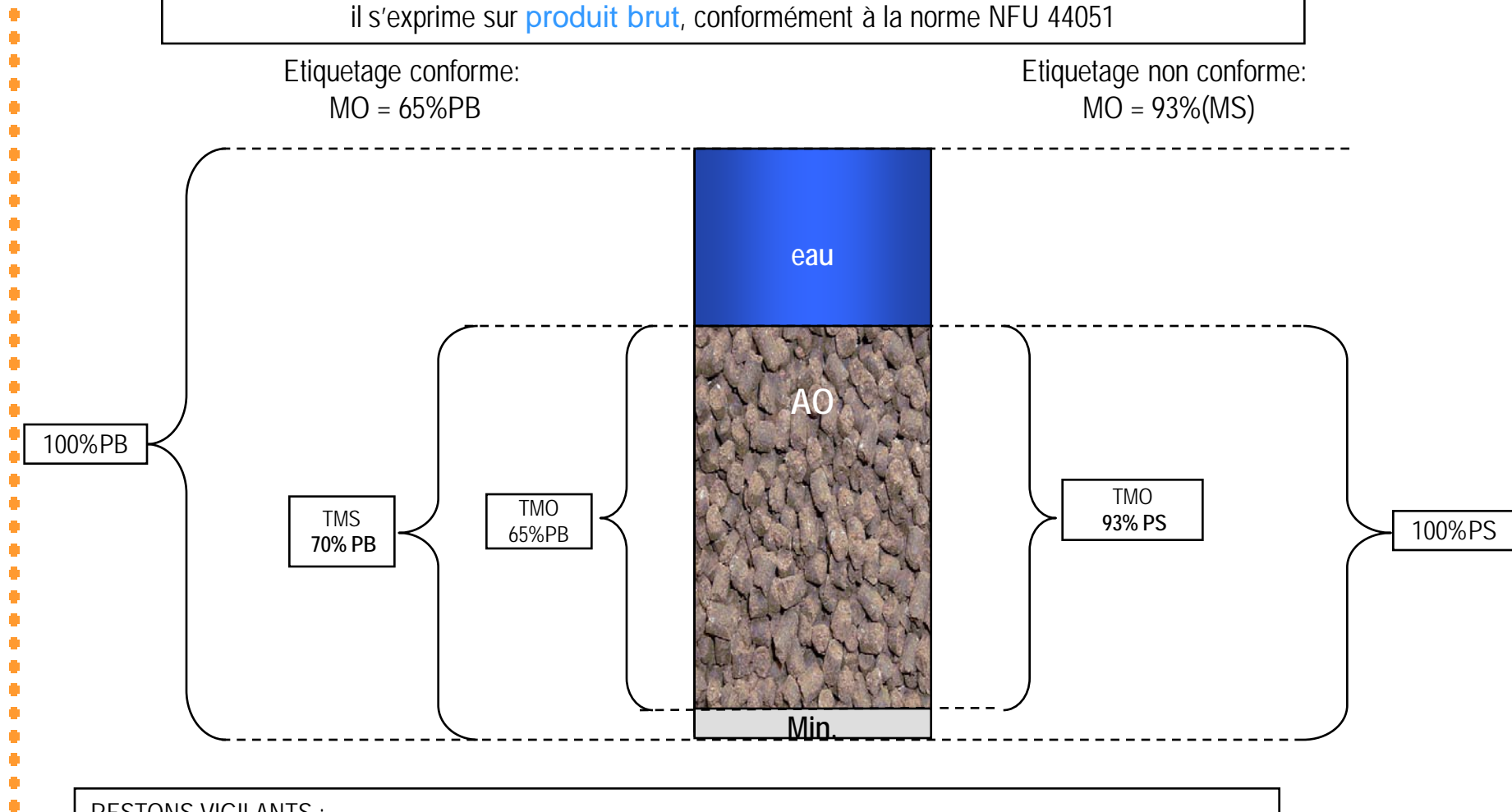
Méthodes	Indicateurs	Utilisation, Effet
Fractionnement biochimique (XPU 44-162)	Indice de stabilité biologique	Efficacité amendante (MO)
Incubations C (XPU 44-163)	Proportion de C _{org} facilement minéralisable	Effet sur activité biologique
Incubations N (XPU 44-163)	N potentiellement disponible	Valeur fertilisante N
Modélisation	Paramètres du modèle	Prévision C, N...
Test auto-échauffement, Solvita...	Maturité des composts	Gérer le procédé de compostage
Test plantes	Phytotoxicité	Utilisation des composts en support de culture

Teneur en matière active d'un AO = [MO] Quel mode d'expression pour l'utilisateur?

Le véritable taux de matière organique :
il s'exprime sur **produit brut**, conformément à la norme NFU 44051

Etiquetage conforme:
MO = 65%PB

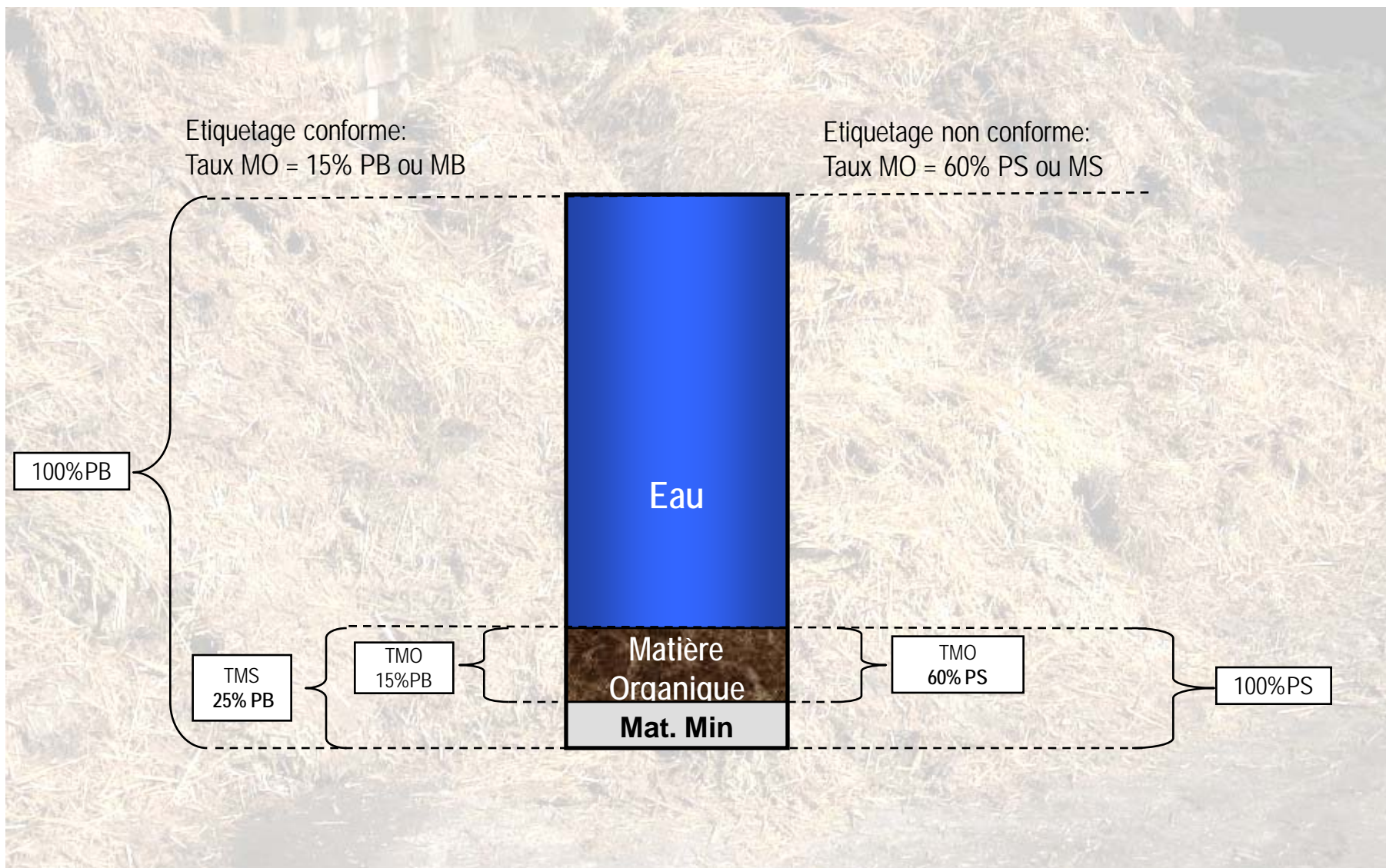
Etiquetage non conforme:
MO = 93%(MS)



RESTONS VIGILANTS :

Il est très simple d'augmenter artificiellement le taux de matière organique, en l'exprimant par rapport à la matière sèche.
La seule mention conforme à la norme NFU 44051 est le taux de matière organique exprimé en % de produit brut.

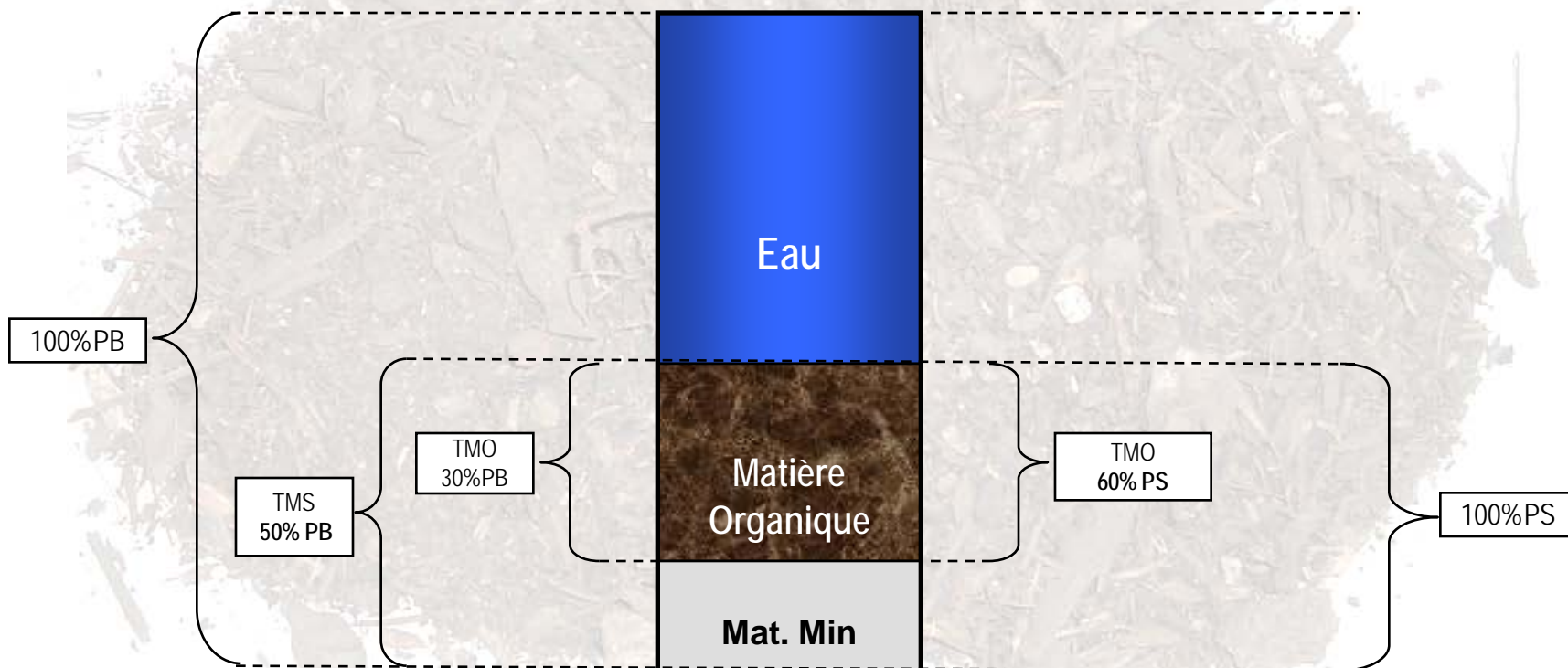
Ex : Fumier de bovin



Ex : Compost de déchets verts

Etiquetage conforme:
Taux MO = 30% PB ou MB

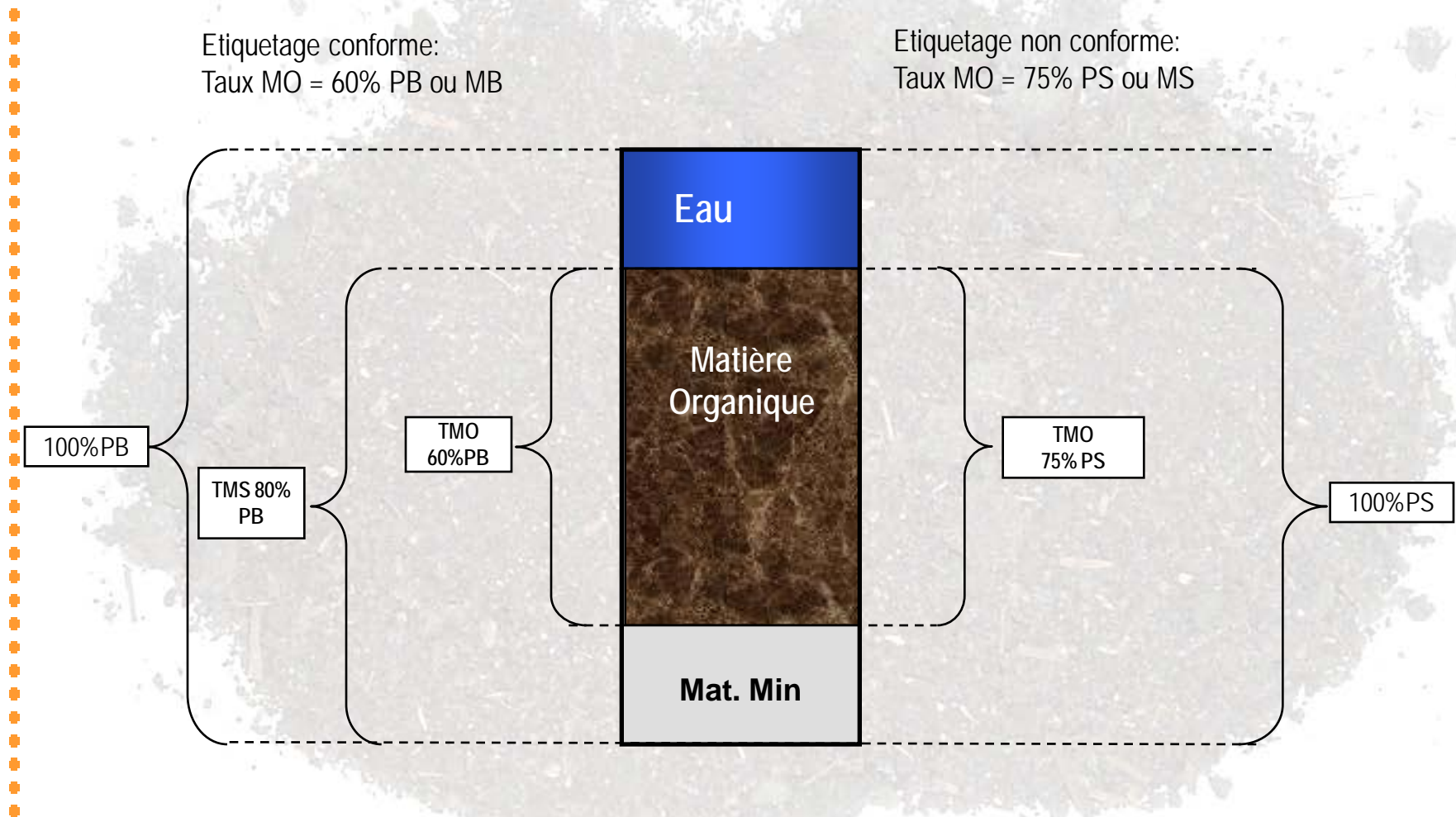
Etiquetage non conforme:
Taux MO = 60% PS ou MS



Ex : Amendement organique

Etiquetage conforme:
Taux MO = 60% PB ou MB

Etiquetage non conforme:
Taux MO = 75% PS ou MS



Rappel: méthodologie et démarche

- * Décomposabilité des apports '*a priori*': **indicateurs**
Méthodes et outils
 - par fractionnement biochimique: AFNOR XP U44-162
 - par incubation (potentiel de minéralisation): AFNOR XP U44-163
 - des outils à tester (ex. spectrométrie?)
- * Utilisation de **modèles** de dynamique des MOA
- * Utilisations : gestion *a priori* des apports organiques (nature, forme), choix des matériaux & procédés de transformation
- * Destination : devenir des résidus végétaux, déchets organiques & sous-produits agricoles



← *fertilisants
organiques
industriels*

*composts locaux
en maraîchage
péri-urbain →*



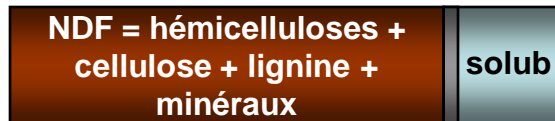
Apport organique brut



Fractionnement biochimique :
méthode de Van Soest **séquentielle** modifiée



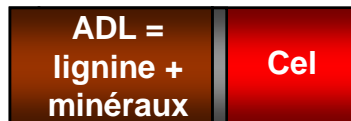
Echantillon séché (40°C)



Extraction au détergent neutre (100°C, 1 heure)
Lipides, sucres simples, tanins, protéines, quelques minéraux



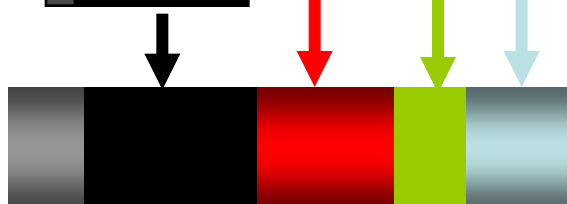
Extraction au détergent acide (100°C, 1 heure)
Hémicelluloses, quelques minéraux



Extraction acide sulfurique 72%
(20°C, 3 heures)
Cellulose, quelques minéraux



Calcination finale (550°C, 6 heures)
Lignine



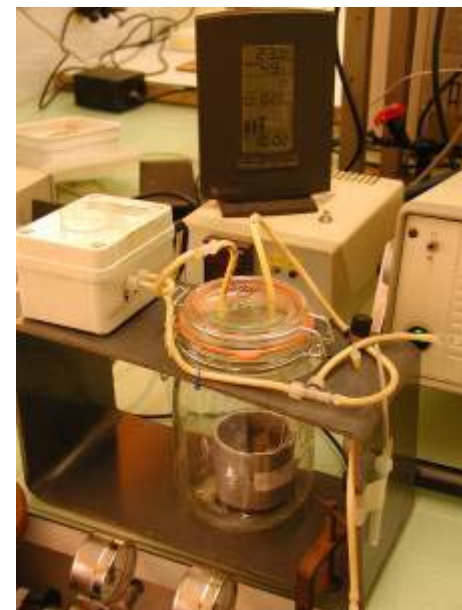
AFNOR (2004) 'Norme expérimentale **XP U44-162** ; Amendements organiques et supports de culture ; Fractionnement biochimique et estimation de la stabilité biologique ; méthode de caractérisation de la matière organique par solubilisations successives.' *Afnor*, Saint Denis la Plaine, 15p.

Incubation en conditions contrôlées (potentiel de minéralisation)



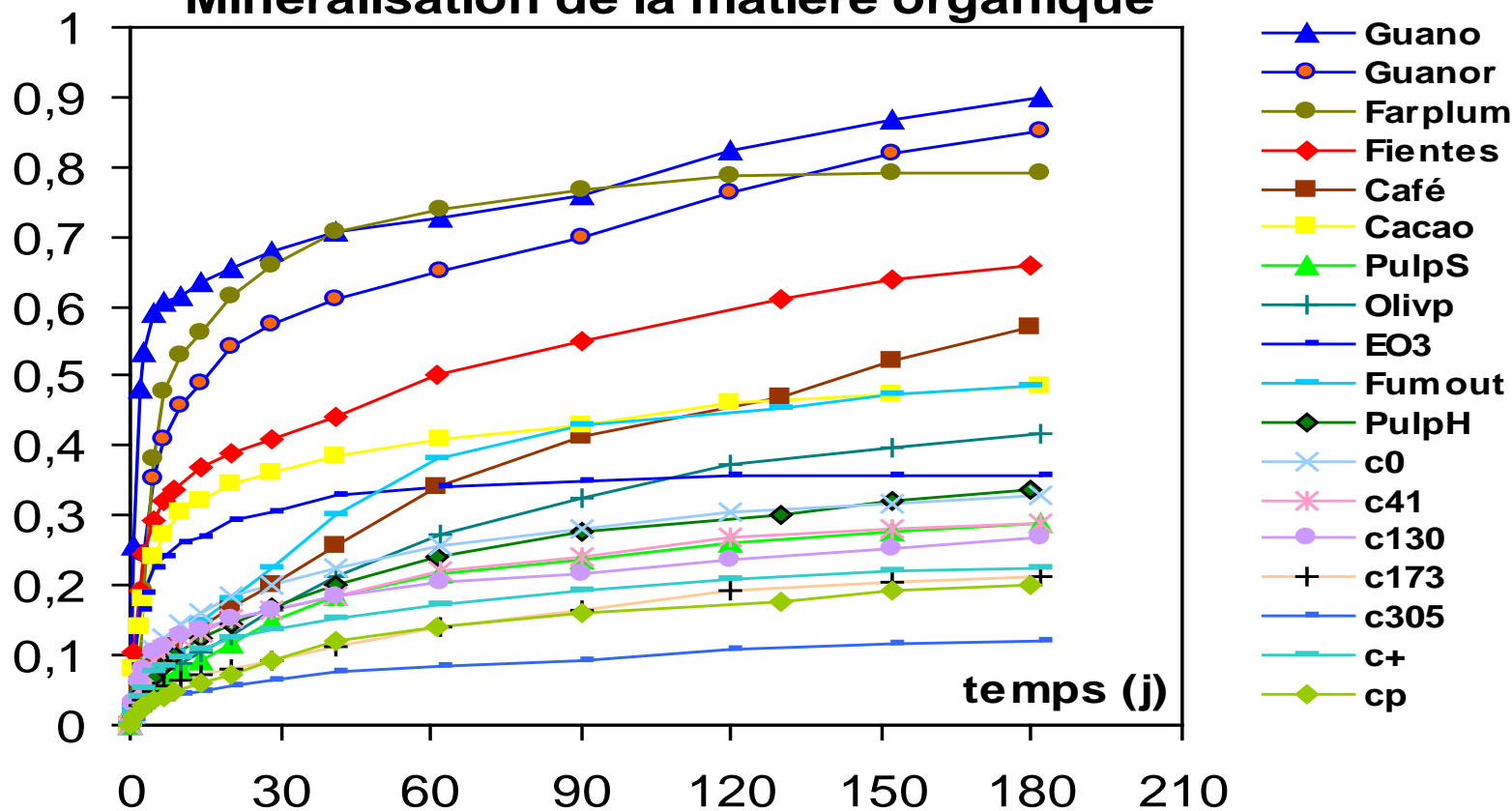
Incubation (stock étuve 28°C)

dosage CO_2 (CPG)
+ extraction NH_4^+ et NO_3^- de la solution du sol
(dosage colorimètre)
Nouveau en 2006: piégeage NH_3
(dosage colorimètre)
+ dosage N_2O (CPG)



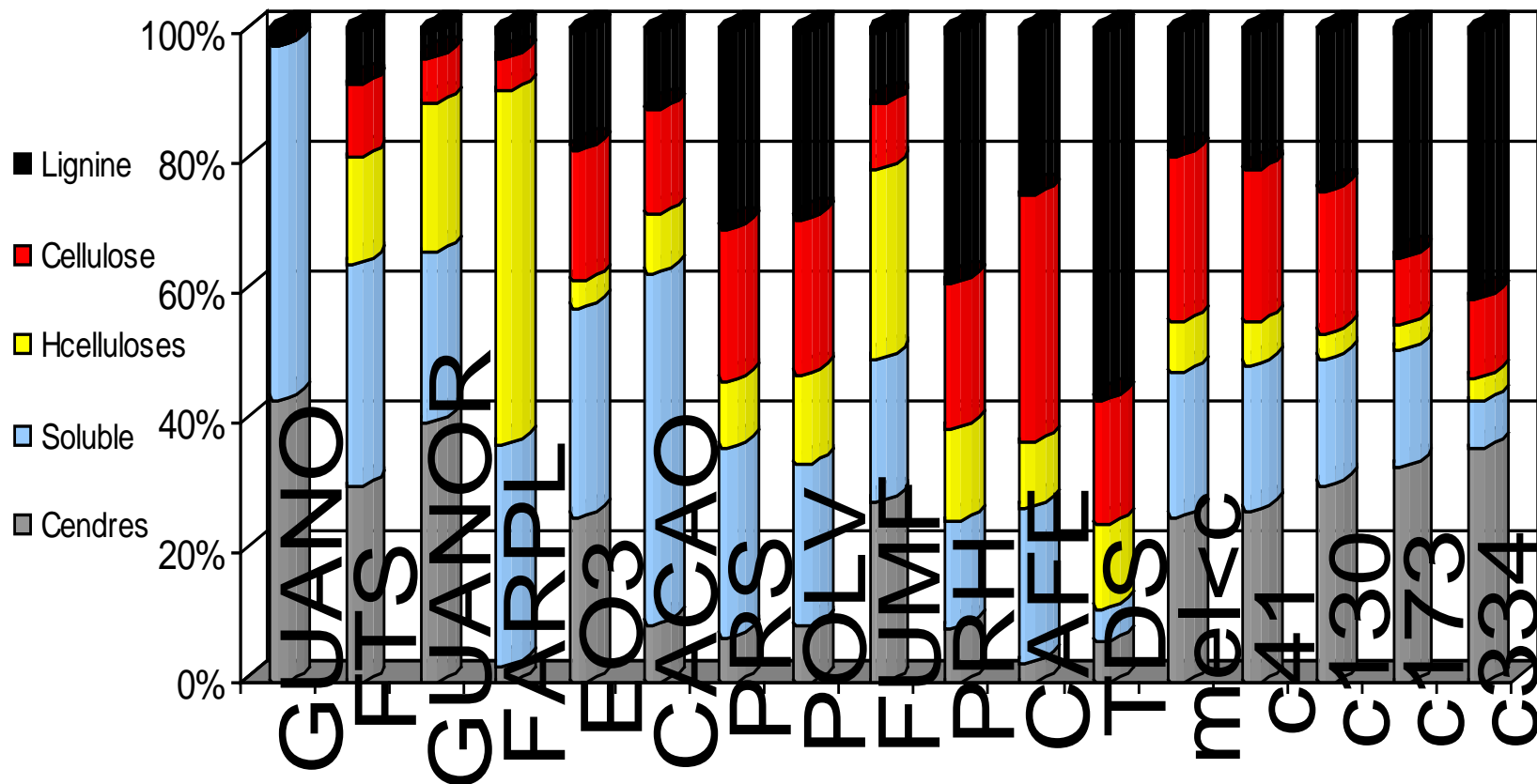
Incubation en conditions contrôlées

Minéralisation de la matière organique



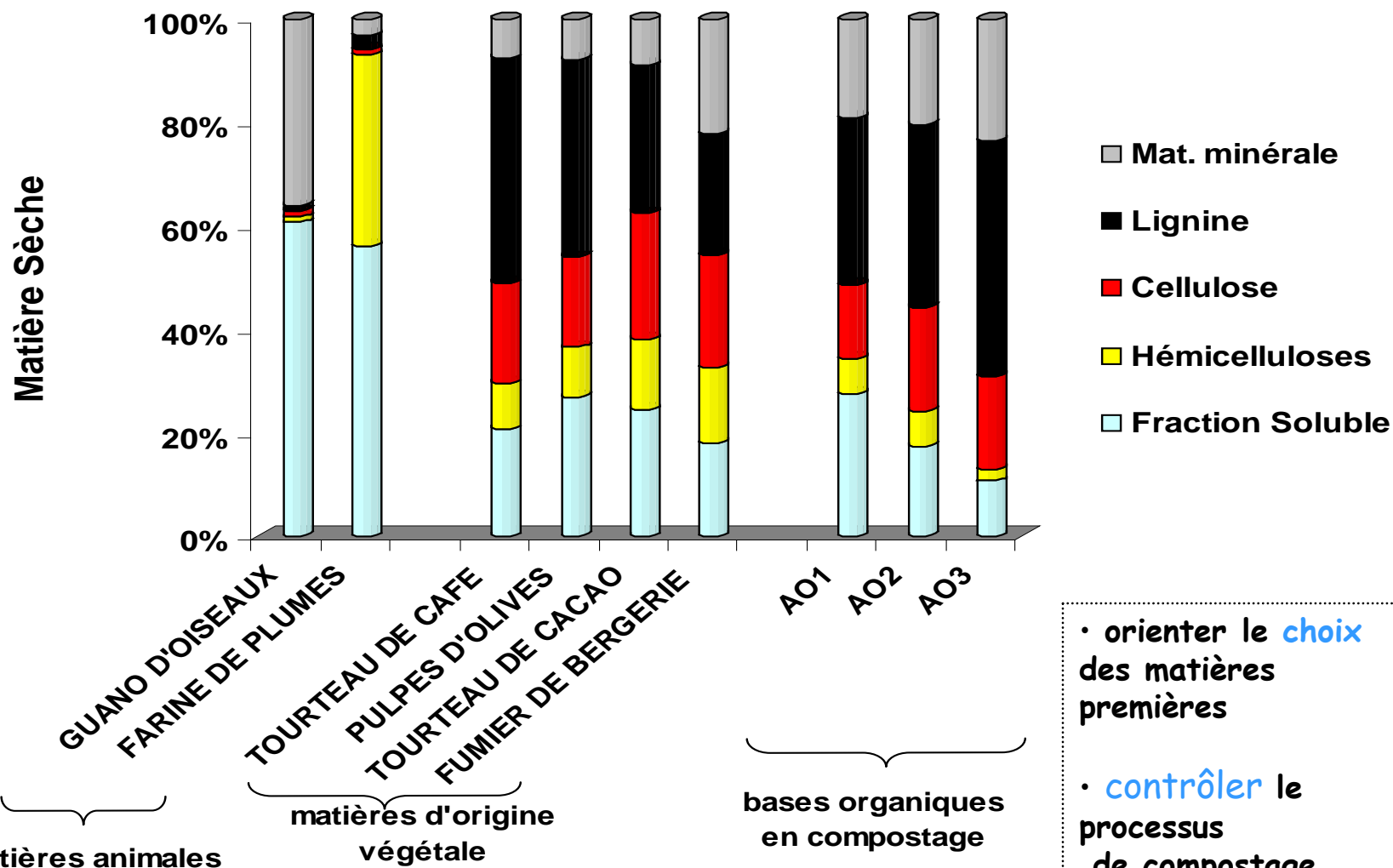
- potentiels de minéralisation
- diversité des dynamiques

Fractionnement biochimique



- diversité des profils

Fractionnement biochimique : utilité en **production**



• orienter le **choix**
des matières
premières

• **contrôler** le
processus
de compostage

Fractionnement biochimique : utilité en production



Laboratoires associés IRD - CIRAD et Phalippou-Frayssinet

SÉLECTION DES MATIÈRES PREMIÈRES VÉGÉTALES

Caractéristiques analytiques des tourteaux végétaux

COMPARAISON

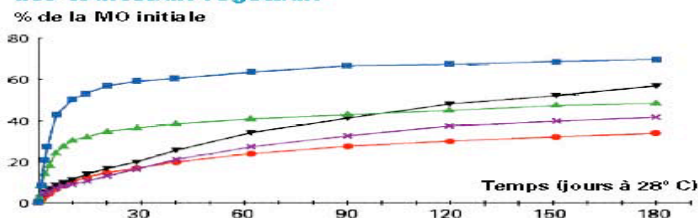
- ▲ Tourteau de cacao
- ▼ Tourteau de café
- ✕ Tourteau de pulpes d'olive
- Tourteau de pulpes de raisin
- Tourteau de soja

MODE EXPÉRIMENTAL (Norme AFNOR XPU 44-163)

- Incubation contrôlée en enceintes closes
- Température : 28°C
- Humidité (75% de la capacité au champ)
- Oxygénation (conditions aérobies)
- Sol : sablo-limoneux
- Dose : 2 t/ha

GRAPHIQUES

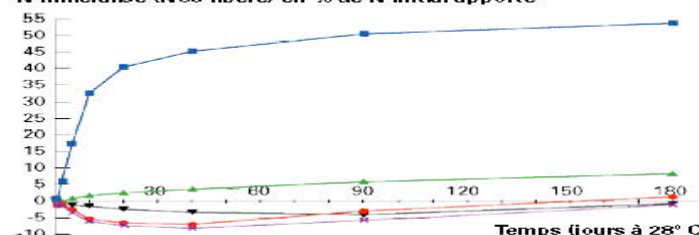
Cinétique de biodégradation de la Matière Organique des tourteaux végétaux



GRAPHIQUES

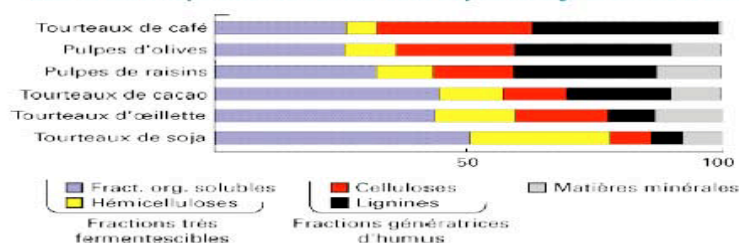
Cinétiques de minéralisation de l'azote organique initial apporté

N minéralisé (NO₃ libéré) en % de N initial apporté



Profils biochimiques des tourteaux végétaux

Base de calcul du potentiel humus (ISB-CBM) en pourcentage de la matière sèche



OBSERVATIONS AGRONOMIQUES

Sous l'appellation générique "tourteaux végétaux", il apparaît des matières premières végétales aux caractéristiques différentes. Par exemple, les tourteaux de café ont une vitesse de biotransformation deux fois plus importante que les pulpes de raisin. Seuls les tourteaux de soja et de cacao peuvent être épandus bruts sans risque de faim d'azote, les autres doivent être compostés.

A partir des profils biochimiques, nous pouvons distinguer les tourteaux végétaux à fort potentiel humus et ceux qui se dégradent rapidement en libérant l'azote (tourteau de soja,...). Nous basons la sélection des tourteaux végétaux sur leurs propriétés spécifiques. Nos formulations et procédés de fabrication sont adaptés aux caractéristiques particulières de ces différentes matières premières végétales.

- orienter le **choix** des matières premières

Fractionnement biochimique : utilité en production



Laboratoires associés IRD - CIRAD et Phalippou-Frayssinet

COMPOSTAGE ACTIF CONTRÔLÉ ET HUMIFICATION

*Intérêt du compostage sur
la stabilisation et l'humification
des amendements organiques*

COMPARAISON

Végéhumus aux différents stades du Compostage Actif Contrôlé (CAC), tourteaux végétaux (café), fumiers de berges et bourres de laine

- Végéhumus 1 (0 jour CAC)
- Végéhumus 2 (2 mois CAC)
- Végéhumus 3 (commercialisé > 4 mois CAC)

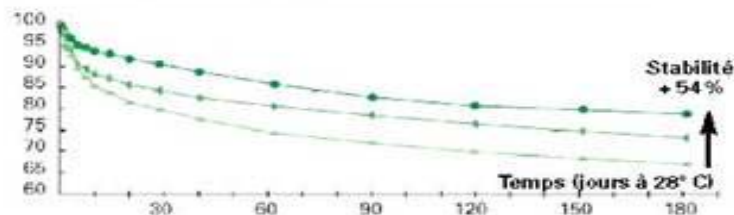
MODE EXPÉRIMENTAL (Norme AFNOR XPU 44-163)

- Incubation contrôlée en enceintes closes
- Température : 28° C
- Humidité (75% de la capacité au champ)
- Oxygénation (conditions aérobies)
- Sol : sablo-limoneux
- Dose : 2 t/ha
- Analyses biochimiques selon norme AFNOR XPU 44-162 (bases calculs ISB-CBM)

GRAPHIQUES

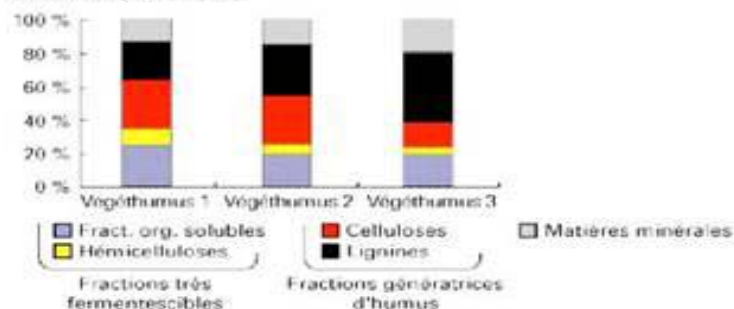
Cinétiques de biodégradation de la matière organique

% de la matière organique initiale apportée (ou % du carbone)



Teneurs en lignine et cellulose : bases des indicateurs de potentiel humique ISB et CBM

% de la matière sèche



- **contrôler** le processus de compostage

Fractionnement biochimique : utilité en production



Laboratoires associés IRD - CIRAD et Phalippou-Frayssinet

COMPOSTAGE ACTIF CONTRÔLÉ ET AZOTE

*Intérêt du compostage
sur la stabilisation
et la disponibilité de l'azote
des amendements organiques*

COMPARAISON

- ▼ Fumier de bovin non composté
- Tourteau végétal non composté (pulpes de raisin)
- Végéhumus aux différents stades du compostage (tourteaux végétaux de café, fumiers de bergeries et bourres de laine)
- Végéhumus début compostage
- Végéhumus composté 1 mois
- Végéhumus poudre stade final

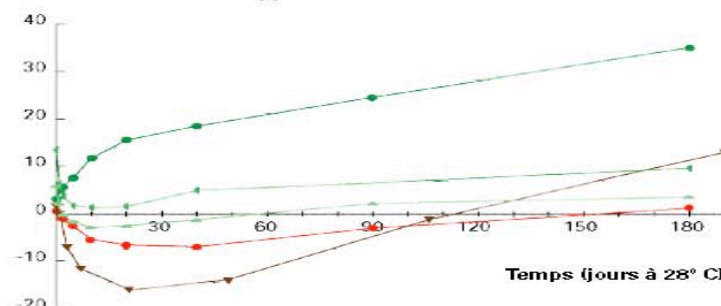
MODE EXPÉRIMENTAL (Norme AFNOR XPU 44-163)

- Incubation contrôlée en enceintes closes
- Température : 28° C
- Humidité (75% de la capacité au champ)
- Oxygénation (conditions aérobies)
- Sol : sablo-limoneux
- Dose : 2 tonnes/hectare

GRAPHIQUE

Cinétiques de transformation de l'azote organique en azote disponible (forme nitrique).

N minéralisé (forme nitrique)
en % de l'azote initial apporté



OBSERVATIONS AGRONOMIQUES

L'apport au sol de matières organiques (tourteaux végétaux, fumiers bruts, ...) non ou peu compostés entraîne une "fermentation incontrôlée" qui se traduit par une immobilisation de l'azote du sol (N déjà présent + N apporté).

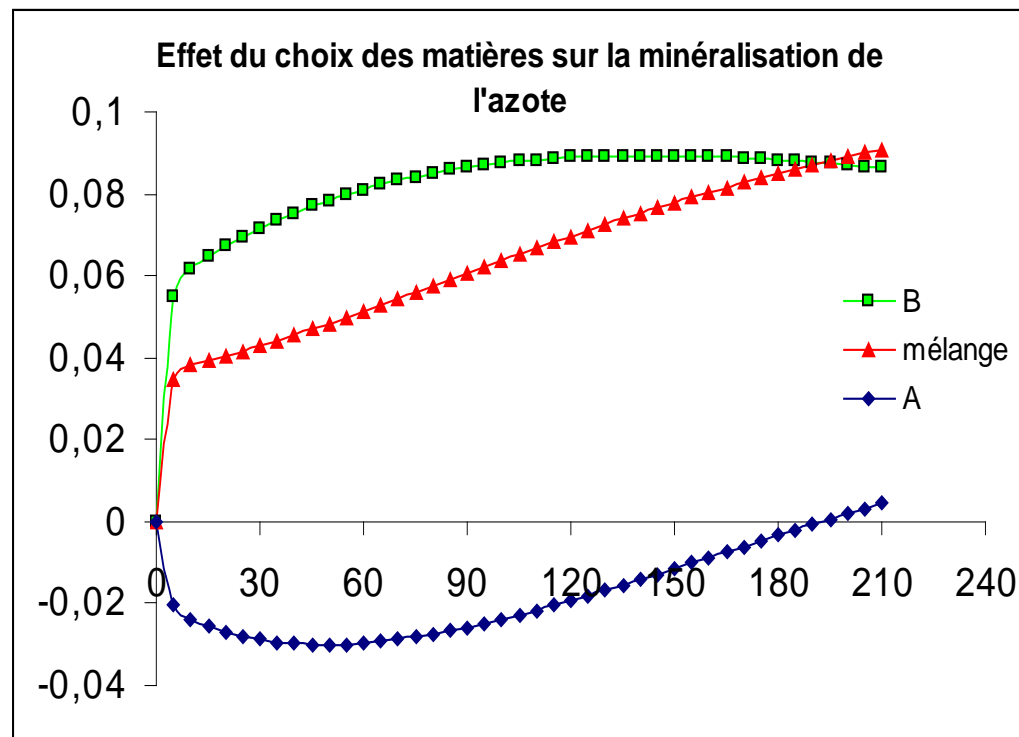
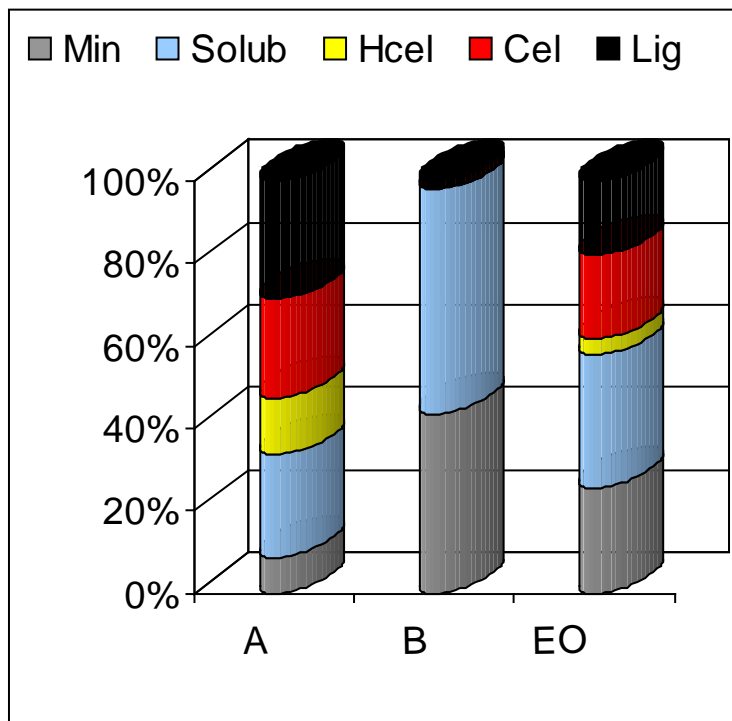
L'azote est utilisé par la biomasse microbienne à son profit et n'est pas disponible pour les cultures.

Un amendement organique élaboré par compostage actif contrôlé (type Végéhumus) n'entraîne pas de risques de faim d'azote.

La stabilisation avec maîtrise du compostage assure une disponibilité progressive des éléments nutritifs (N, P, oligos...) de l'amendement organique.

- **contrôler** le processus de compostage

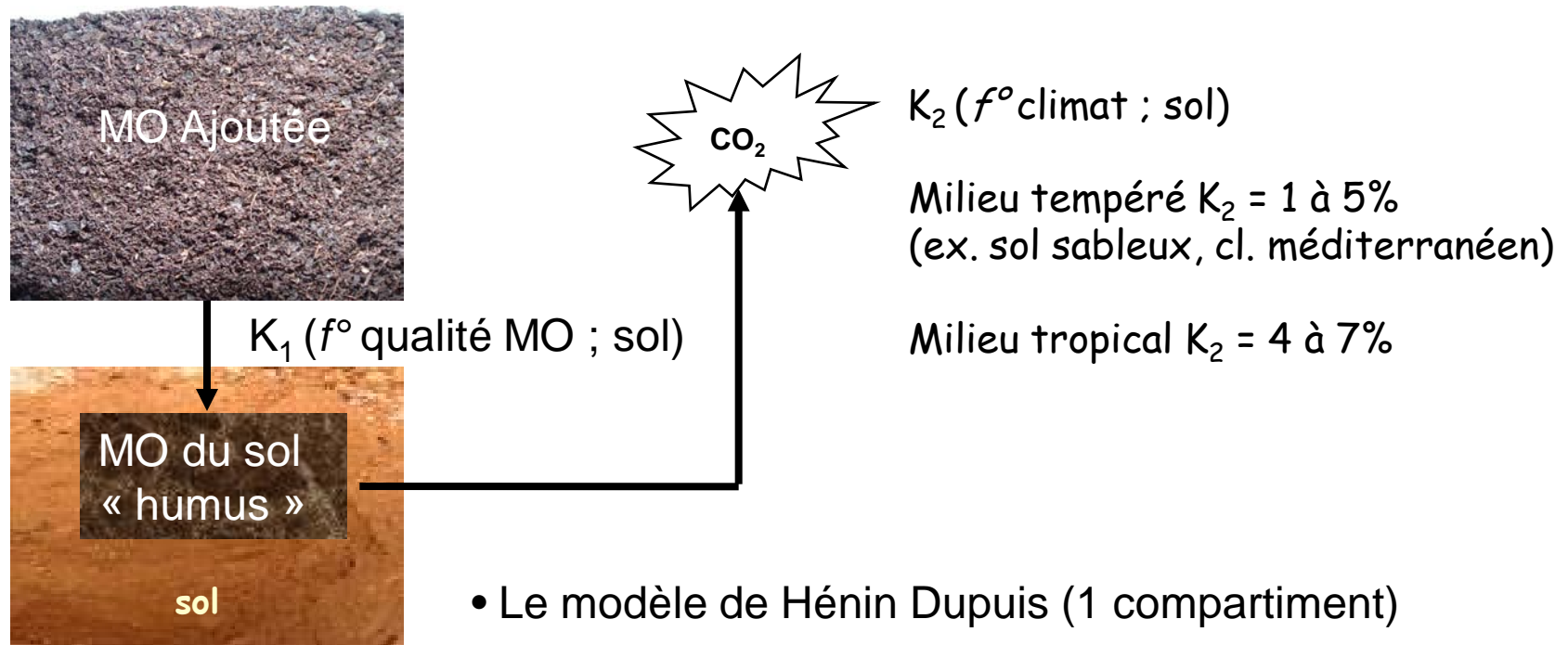
Incubation et fractionnement biochimique cas de l'élaboration d'un engrais organique



- **combiner** les matières premières
- **élaborer** un produit « à la carte » à la dynamique connue a priori

cirad Modèles de transformation des MO Ajoutées

LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT



K_1 , coefficient iso humique (Hénin et Turc, 1957) :

« l'expression de la quantité d'humus formé en fonction de la quantité de matière sèche du produit organique apporté au sol »

$$K_1 = QH/MS$$

avec QH = quantité d'humus généré par le produit / an

et MS = quantité de Matière Sèche du produit apporté / an

$$\text{Rendement humus} = K_1 \times MS$$

Calculs de K1

Produit A

MO sur PBrut = 600 kg t⁻¹

MS sur PBrut = 400 kg t⁻¹

Rendement humus = 60 kg t⁻¹

$K1 = 60/400 = 0,15$



Produit B

MO sur PBrut = 600 kg t⁻¹

MS sur PBrut = 800 kg t⁻¹

Rendement humus = 530 kg t⁻¹

$K1 = 530/800 = 0,66$



Produit C

MO sur PBrut = 500 kg t⁻¹

MS sur PBrut = 750 kg t⁻¹

K1 annoncé = 0,8

Rendement humus = $0,8 \times 750 = 600$ kg t⁻¹



Impossible avec 500 kg MO t⁻¹

- Valeurs de K1

- Difficilement (pas) contrôlable

1. Influence des conditions pédoclimatiques
2. Coût / durée

Des indices de laboratoire fidèles à K_1 ?

$$ISB = 2,112 - 0,02009 \text{ SOL} - 0,02378 \text{ HEM} + 0,0084 \text{ LIC} - 0,02216 \text{ CEW}$$

$$CBM-Tr = (0,3221 \text{ SOL} - 0,7155 \text{ HEM} + 0,6717 \text{ CEL} + 1,8919 \text{ LIC}) \text{ MO } 10^{-2} + 0,0271 \text{ MMin}$$

où SOL, HEM, CEL, CEW, LIC en % MO
MO et MMin en % MS

Cf. Linères et Djakovitch (1993); Robin (1997)

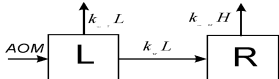
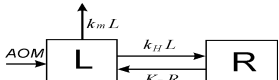
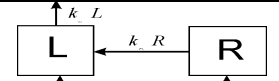
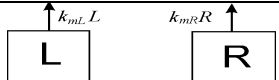
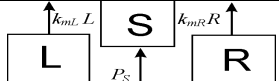
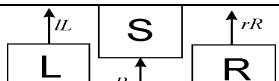
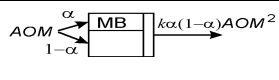

/MS	K_1	ISB	CBM-Tr
Fumier frais	0.16	0.20	0.24
Fumier déshydraté	0.27	0.23	0.22
Compost de déchets verts	0.22	0.38	0.28
Compost d'écorces	0.21	0.18	0.07
Végéthumus	0.62	0.74	0.66

Les indices
donnent une
image ~ fidèle
des K_1 mesurés

Bilan K_1 et indices (source: SERAIL, 1995-1998)

AFNOR (2004) 'Norme expérimentale [XP U44-162](#) ; Amendements organiques et supports de culture ; Fractionnement biochimique et estimation de la stabilité biologique ; méthode de caractérisation de la matière organique par solubilisations successives'. Afnor, Saint Denis la Plaine, 15p.

Autres modèles de transformation des MO ajoutées

N°	Name	Flow AOM = added organic matter	Analytical solution RAOMF at time t	Parameters
m1	Consecutive humification 1 st order 2 CM, 3 parameters		$\frac{(k_{mL} - k_{mR})}{k_{mL} + k_H - k_{mR}} e^{-(k_{mL} + k_H)t} + \frac{k_H}{k_{mL} + k_H - k_{mR}} e^{-k_{mR}t}$	k_{mL}, k_{mR} : 1 st order k. mineralization constants of labile (L) and resistant (R) compartments k_H : humification constant.
m2	Exchange 1 st order 2 CM		$\frac{\lambda_1 + k_m}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{\lambda_1 t} - \frac{\lambda_2 + k_m}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{\lambda_2 t}$	k_H, k_D : humification and decomposition constants, k_m : mineralization constant (λ_1, λ_2 : roots of 2 nd order linear differential equation $f(k_H, k_D, k_m)$)
m3	Consecutive decomposition 1 st order 2 CM, 3 parameters		$\frac{P_L k_m - k_D}{k_m - k_D} e^{-k_m t} + \frac{(1 - P_L) k_m}{k_m - k_D} e^{-k_D t}$	k_D, k_m : decomposition and mineralization constants P_L : labile AOM fraction
m4	Parallel 1 st order 2 CM, 3 parameters		$P_L e^{-k_{mL} t} + (1 - P_L) e^{-k_{mR} t}$	k_{mL}, k_{mR} : see m1 above P_L : see m3 above
m5	Parallel 1 st order 3 CM, 4 parameters		$P_L e^{-k_{mL} t} + (1 - P_L - P_S) e^{-k_{mR} t} + P_S$	k_{mL}, k_{mR}, P_L : see m4 above P_S : stable AOM fraction
m6	Parallel 1 st order 3 CM, 2 parameters		$P_L e^{-l t} + (1 - P_L - P_S) e^{-r t} + P_S$	P_L, P_S : see m4 and m5 above l, h : constants (fixed values of k_{mL} and k_{mR} for all AOM)
m7	2 nd order kinetic model		$\frac{1}{1 + k\alpha(1 - \alpha)t}$	k : 2 nd order kinetic constant, α : fraction of AOM becoming microbial biomass
m8	1 st order plus 0 order model		$P_L e^{-k_{mL} t} + 1 - P_L + k_{m0} t$	P_L, k_{mL} : see m4 above k_{m0} : 0 order kinetic constant

• modèles multicompartimentaux

• prédictions avec 3 CM > 2 CM

• m4 et m5 vers m6 : TAO

(proportions P_L, P_R, P_S : déterminantes // aux vitesses de minéralisation k_{mL} et k_{mR})

Décomposabilité des apports 'a priori': modèles

- Mécanistes (à compartiments fonctionnels)

Ex. Transformations des Apports Organiques (TAO)

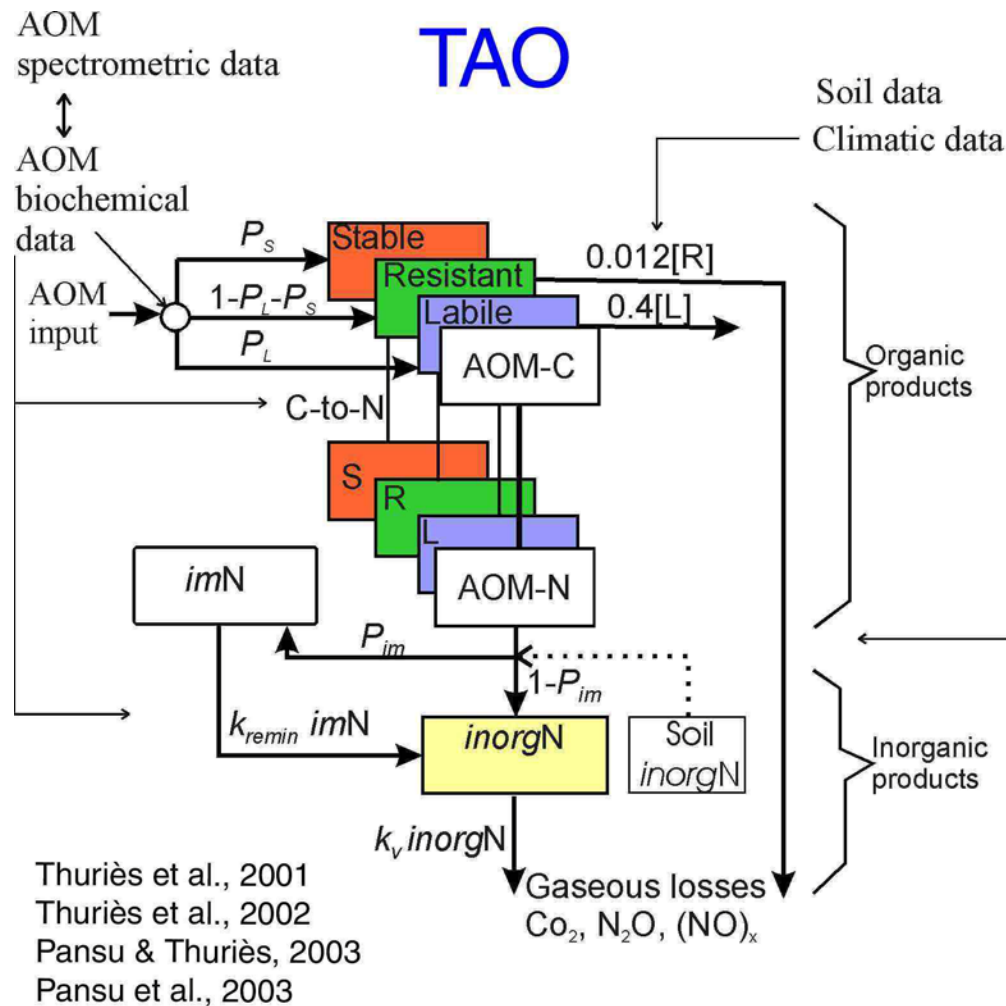
- * 3 compartiments fonctionnels,
- * Echelle de temps : jour, mois (saison)

Intérêts:

- bon pouvoir explicatif,
- comparer les dynamiques d'AO
- entre eux & de couples AO-sols

Produits : des indicateurs

- C (potentiel humique),
- N (potentiel minéralisation)



$$P_L e^{-k_m L t} + (1 - P_L - P_S) e^{-k_m R t} + P_S \quad \text{Avec } k_{mL} = 0.4 \text{ j}^{-1} \text{ et } k_{mR} = 0.012 \text{ j}^{-1}$$

2 jeux d'équations :

f° de la composition des AOM (C et Lig/N) $CO = 0.71 \left(\frac{C - \bar{C}}{s_C} + \frac{LIG/N - \overline{LIG/N}}{s_{LIG/N}} \right)$

CO

- $PL' = 0.35 f_{sol} + 2.2 N_{AOM} - 0.010 \text{ Lig}/N_{AOM}$
- $PS = 3.63 \text{ Lig}$
- + $PL' = 0.099 f_{lab} + 0.14 \text{ Hem}$
- + $PS = 1.61 \text{ Lig} + 0.62 \text{ Ash}_{AOM}$

Sol, Hem, Cel, Lig, Ash_{AOM} = mass fraction of the organic extracts: soluble, hemicelluloses, cellulose, lignin in AOM, and inorganic part of AOM, respectively,

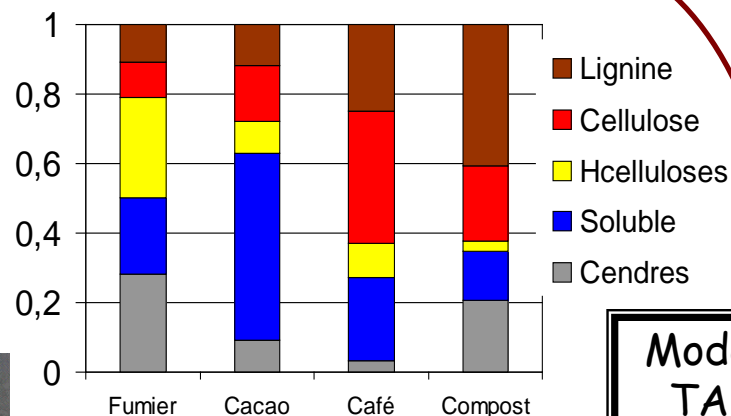
NAOM = nitrogen in whole AOM,

$f_{lab} = (\text{Sol} + \text{Hem}) / (\text{Sol} + \text{Hem} + \text{Cel} + \text{Lig})$,

$f_{sol} = \text{Sol} / (\text{Sol} + \text{Hem} + \text{Cel} + \text{Lig})$,

- Compartiments fonctionnels = f^q (fractions **mesurables**)
- Outils 'de laboratoire' (texture, contact sol, **faune**... difficilement ou peu pris en compte)

biochimie



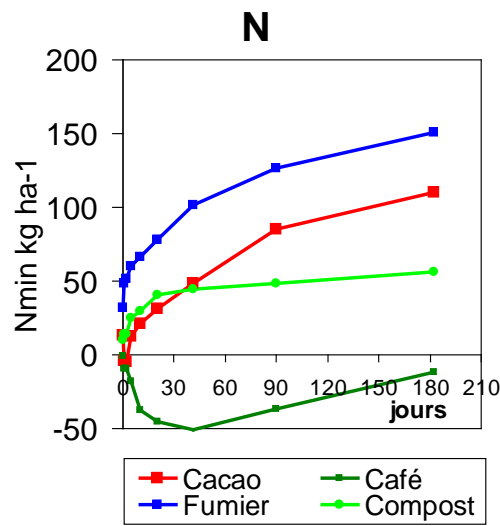
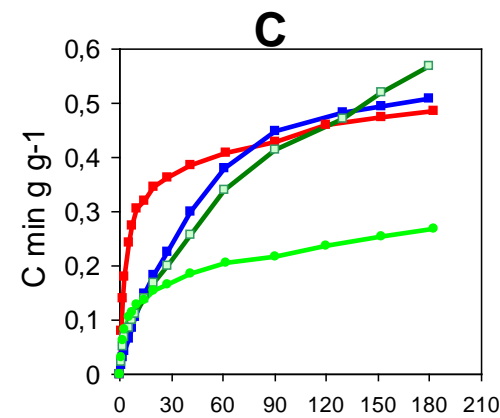
**Modèle
TAO**

chimie

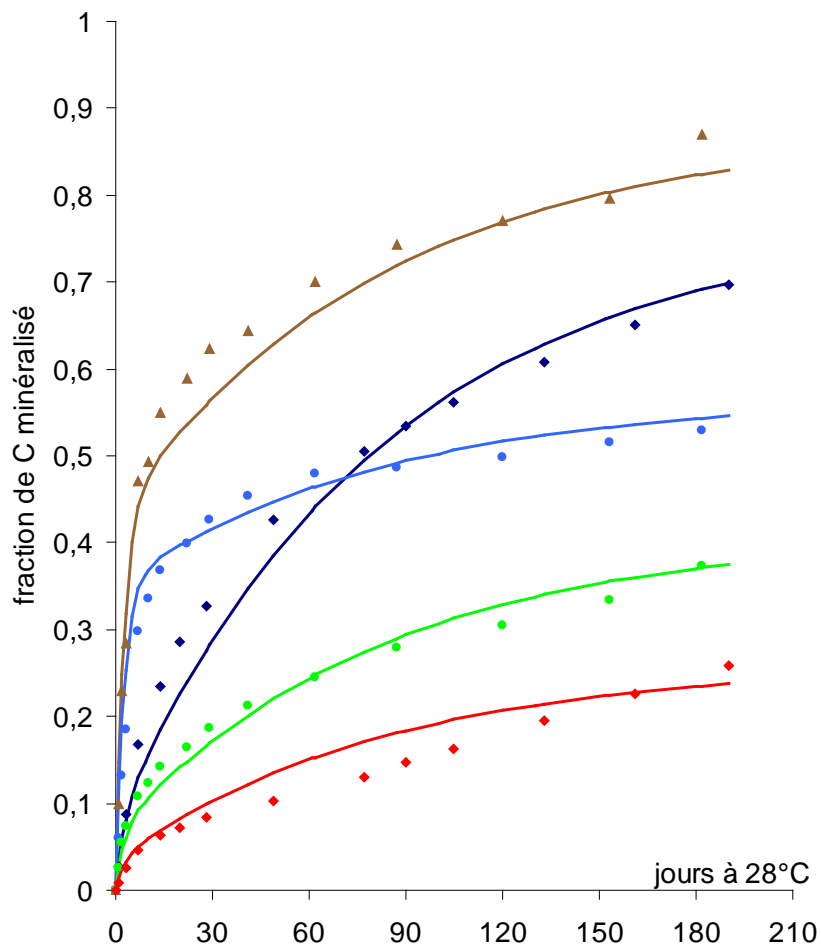
C, N, (silice, métaux?)

physique

biologie



TAO Carbone: de la R&D à la production



▲ SP

Propositions de matières premières :
tri, usages possibles, rejet

— p_SP

◆ A

Amendements organiques:
- suivi du compostage
- création articles

— p_A

● EV

— p_EV

Engrais organiques:
- calculs en formulation

● BA

— p_BA

◆ I

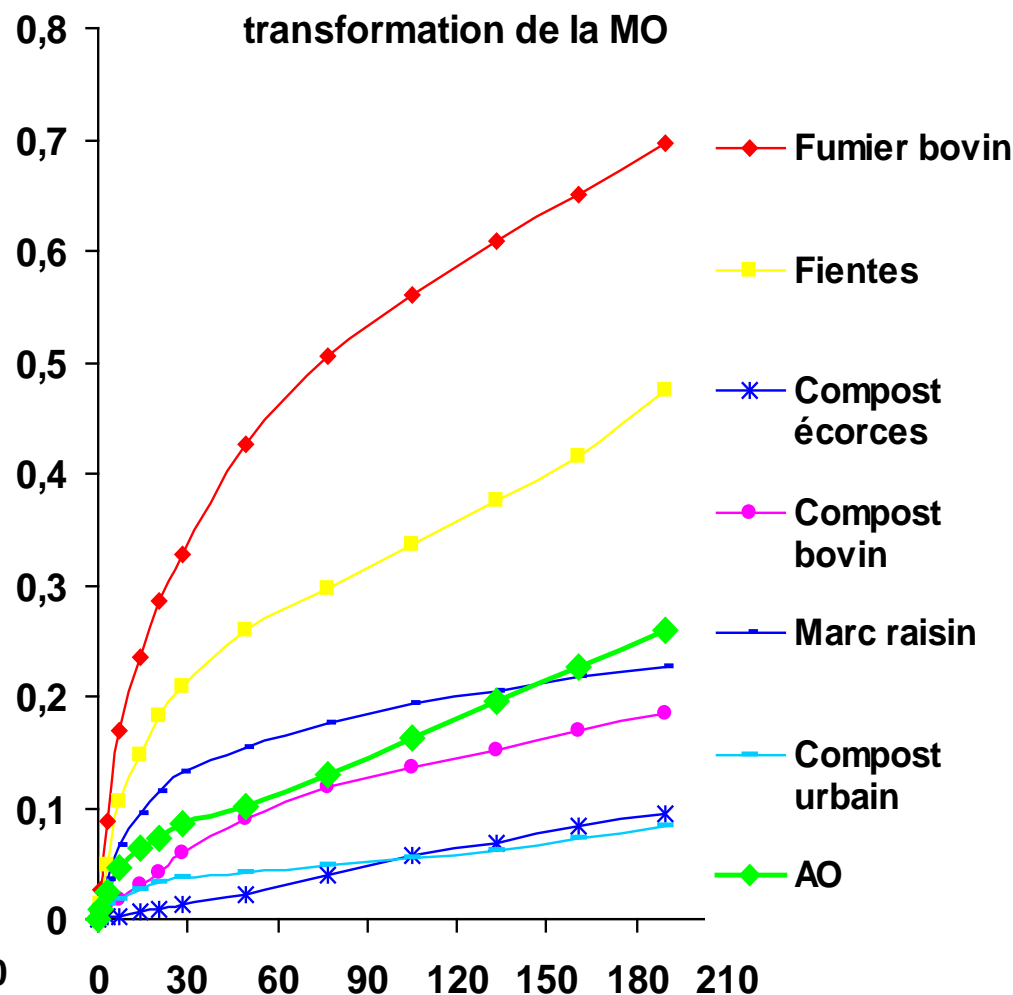
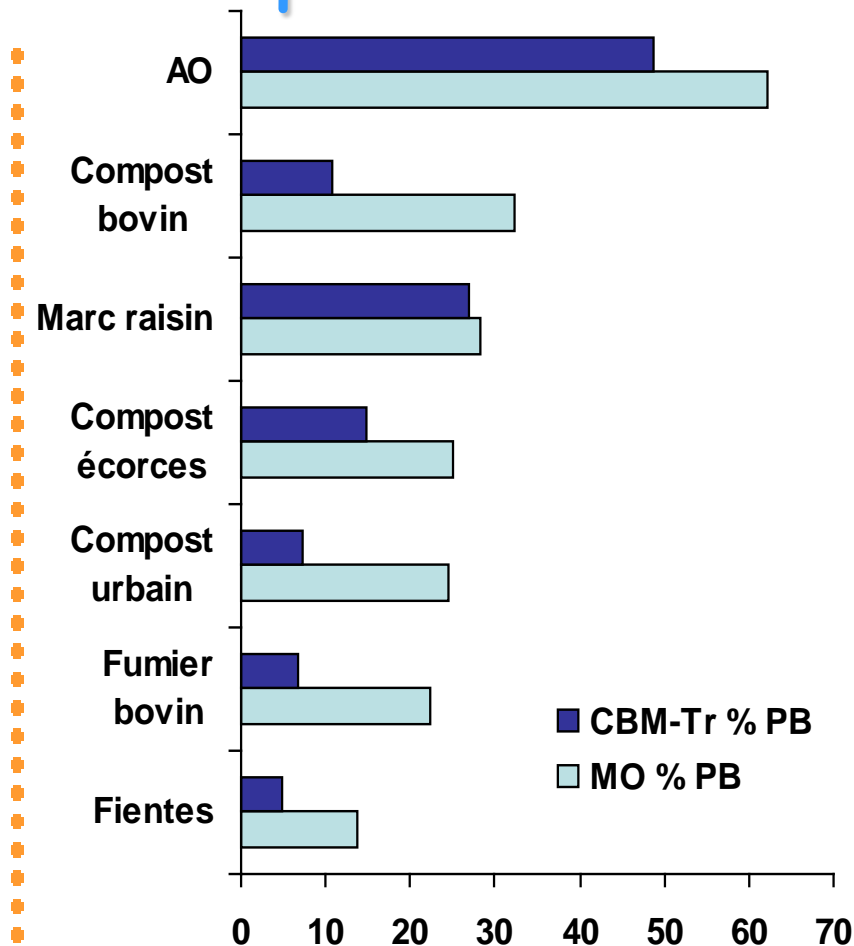
— p_I

Utilité en fabrication (Exemples PF)

Fichier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?																	Tapez une question	
Arial 10 G I S [align] [bullet] [numbered] [list-type-disc] [list-type-square] [list-type-circle] [list-type-decimal] [list-type-lower-alpha] [list-type-upper-alpha] [list-type-lower-roman] [list-type-upper-roman] [list-type-lower-greek] [list-type-upper-greek] [list-type-lower-latin] [list-type-upper-latin] [list-type-lower-german] [list-type-upper-german] [list-type-lower-cyrillic] [list-type-upper-cyrillic] [list-type-lower-hebrew] [list-type-upper-hebrew] [list-type-lower-arabic] [list-type-upper-arabic] [list-type-lower-hindi] [list-type-upper-hindi] [list-type-lower-japanese] [list-type-upper-japanese] [list-type-lower-korean] [list-type-upper-korean] [list-type-lower-chinese] [list-type-upper-chinese] [list-type-lower-thai] [list-type-upper-thai] [list-type-lower-vietnamese] [list-type-upper-vietnamese] [list-type-lower-tamil] [list-type-upper-tamil] [list-type-lower-burmese] [list-type-upper-burmese] [list-type-lower-sinhala] [list-type-upper-sinhala] [list-type-lower-telugu] [list-type-upper-telugu] [list-type-lower-kannada] [list-type-upper-kannada] [list-type-lower-malayalam] [list-type-upper-malayalam] [list-type-lower-gujarati] [list-type-upper-gujarati] [list-type-lower-punjabi] [list-type-upper-punjabi] [list-type-lower-sanskrit] [list-type-upper-sanskrit] [list-type-lower-persian] [list-type-upper-persian] [list-type-lower-farsi] [list-type-upper-farsi] [list-type-lower-urdu] [list-type-upper-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil] [list-type-upper-sinhala-tamil] [list-type-lower-tamil-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu] [list-type-lower-persian-urdu] [list-type-upper-persian-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-persian-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-hindi-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-sinhala-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-tamil-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-kannada-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-malayalam-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-lower-gujarati-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu-urdu] [list-type-upper-gujarati-urdu] [list-type-lower-punjabi-urdu] [list-type-upper-punjabi-urdu] [list-type-lower-sanskrit-urdu] [list-type-upper-sanskrit-urdu] [list-type-lower-persian-urdu] [list-type-upper-persian-urdu] [list-type-lower-farsi-urdu] [list-type-upper-farsi-urdu] [list-type-lower-urdu																		

- Tableur ComparHumus™ (contrôle, alerte) / Matières premières, produits finis, concurrence

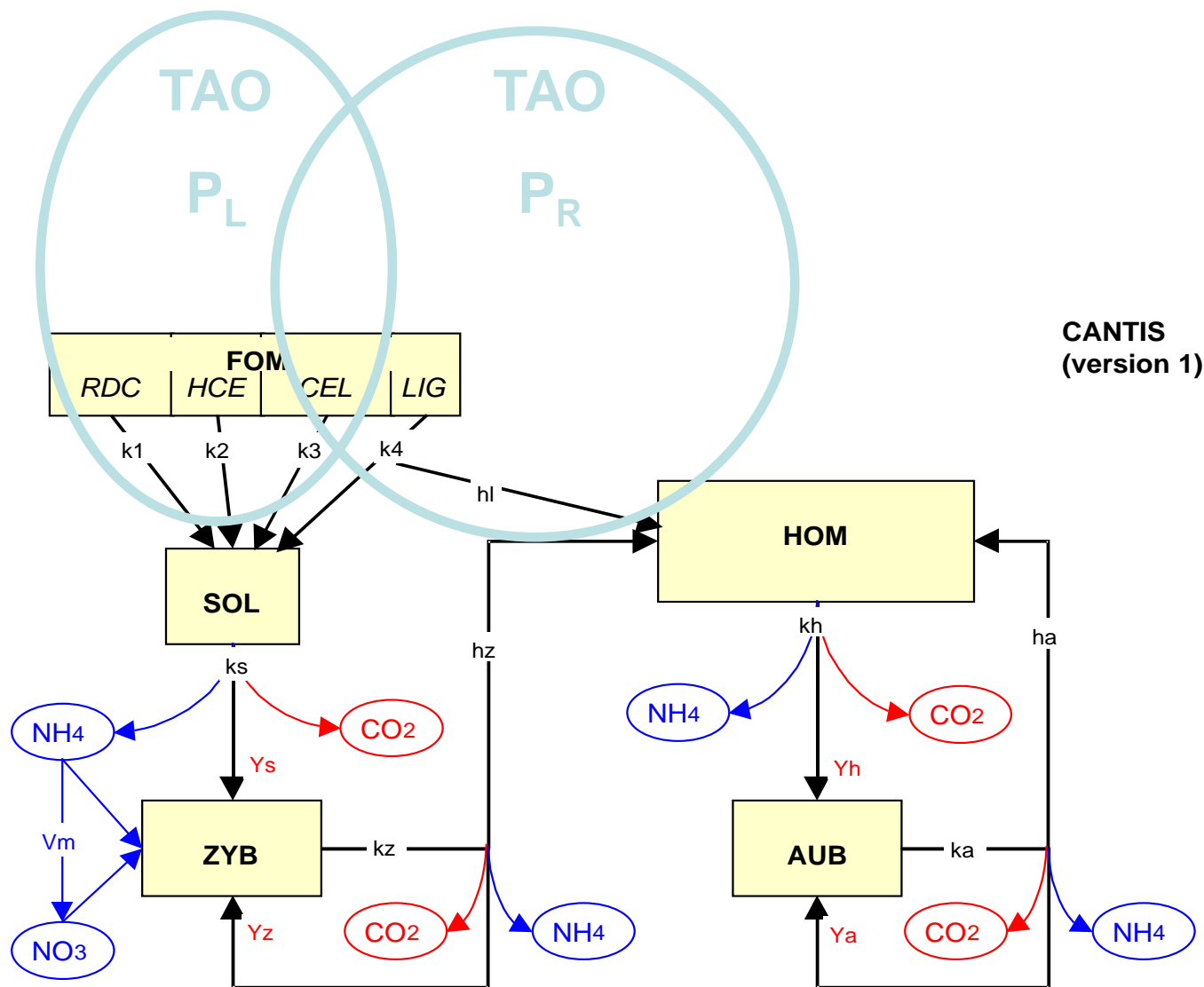
Potentiel d'humification et son expression



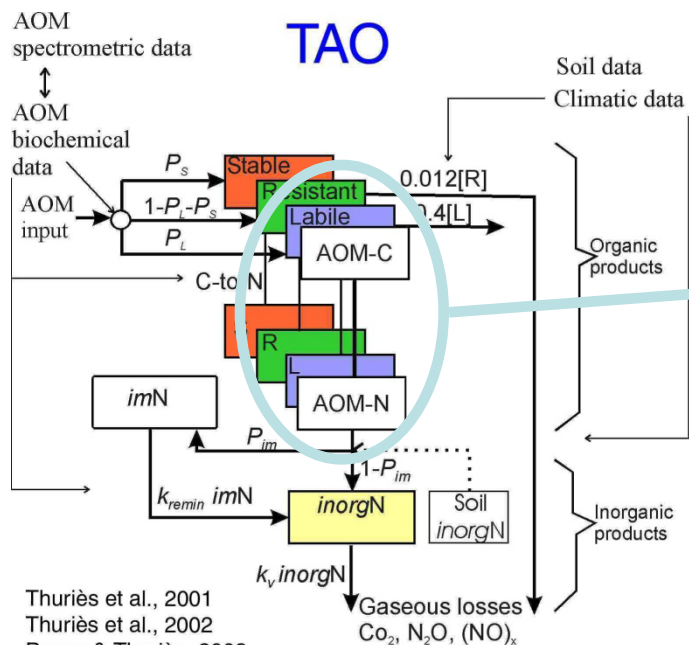
- AO à teneur en MO \equiv peuvent avoir des potentiels d'humification \neq
- La notion d'expression du potentiel est importante (Cf. Compost urbain vs fumier)

Evolution de TAO

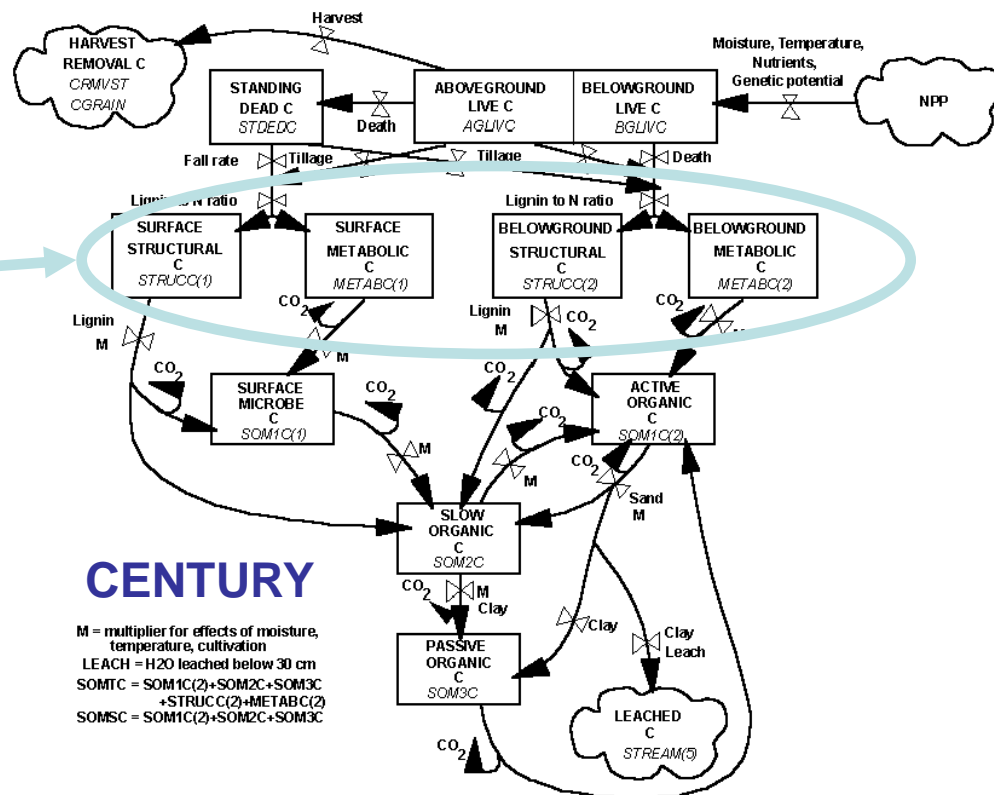
Insertion 'directe' = **entrées** des modèles
MOS (ex. CANTIS)

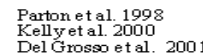


Inclusion dans modèles 'intégrés' (ex. CENTURY)



Thuriès et al., 2001
Thuriès et al., 2002
Pansu & Thuriès, 2003
Pansu et al., 2003





1583 mm

MERCI

